

ОТЗЫВ

научного консультанта, доктора физико-математических наук, профессора Кривобокова Валерия Павловича о диссертации Варлачёва Валерия Александровича на тему **«Нейтронное трансмутационное легирование кремния в бассейновом исследовательском ядерном реакторе»**, представленной к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния

Общая характеристика соискателя

Варлачёв Валерий Александрович, 1948 года рождения, имеет высшее образование: в 1972 году окончил физико-технический факультет Томского политехнического института им. С.М. Кирова «Физико-энергетические установки». С 1972 года и по настоящее время работает в Физико-техническом институте Национального исследовательского Томского политехнического университета. В 1986 г. ему присуждена учёная степень кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля веществ, материалов и изделий. С 1990 г. и по настоящее время работает заведующим Лабораторией 33 ядерного реактора. Темой диссертационной работы занимается с 1984 г. За это время он провёл большой объём экспериментальных и теоретических исследований, проявил себя как высококвалифицированный и эрудированный специалист в области радиационной физики твёрдого тела. Умеет ставить и решать сложные научные задачи. Глубокие знания, трудолюбие и высокая ответственность позволили ему подготовить к защите докторскую диссертацию.

Опубликовал более 100 научных работ, из них 46 – по теме диссертации (в том числе 25 журнальных статей в изданиях, рекомендованных ВАК). Получил 10 авторских свидетельств СССР и 8 патентов РФ. Выступал с докладами по теме диссертации примерно на 20 российских и международных конференциях.

Научная и педагогическая деятельность соискателя

В период с 1990 г. по настоящее время Варлачёв В.А. является научным руководителем работ по нейтронному трансмутационному легированию (НТЛ) кремния, выполняемых в нашем институте. Разработал научные основы и технологию этого процесса применительно к ядерному реактору бассейнового типа. Создал и внедрил в

производственную практику два типа автоматизированных установок для облучения слитков кремния.

Активно привлекает к работе в своей лаборатории студентов. Много внимания уделяет молодым специалистам. Написал несколько учебных пособий для студентов Томского политехнического университета по использованию исследовательских ядерных реакторов в технологиях радиационной обработки материалов.

Параллельно исследует смежные задачи этой темы применительно к радиационной физике активной зоны реактора, нейтронной захватной терапии злокачественных опухолей, созданию центров окраски в декоративных камнях и т.д.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Варлачёва В.А. посвящена исследованию нейтронного трансмутационного легирования (НТЛ) кремния и созданию опытно-промышленной технологии реализации этого процесса в ядерном реакторе бассейнового типа. Актуальность данной темы не вызывает сомнений. В мире наблюдается острая потребность в этом материале. Он имеет большое значение для силовой электроники. Причём ценность его быстро растёт по мере увеличения размеров слитка. Давно пришло понимание того, что процесс НТЛ имеет много преимуществ по сравнению с металлургическими методами легирования, ионной имплантацией или технологиями, построенными на диффузионном внедрении примесей.

Сегодня рынок легированного кремния для силовой электроники в значительной мере свободен. Промышленность требует наращивания объёмов его поставок. Однако производственные возможности общества ограничены. В мире существует много ядерных реакторов, но далеко не любой из них пригоден для НТЛ. Немногие страны способны производить такой кремний из-за нехватки производственных мощностей, отсутствия технологической культуры, законодательных ограничений и т.д.

Наилучшими возможностями здесь обладают тепловые аппараты на высокообогащённом уране. К таковым, в частности, относятся бассейновые исследовательские реакторы (замедлитель и теплоноситель – вода под атмосферным давлением). Их недостатком является то, что они обладают малой по размерам активной зоной и в них трудно обеспечить пространственно-однородное легирование слитков больших размеров. Подобный аппарат типа ИРТ-Т имеется в Физико-техническом институте Национального исследовательского Томского политехнического университета. Но его надо было адаптировать к технологии НТЛ.

Содержание работы, её научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Организация легирования кремния на этом реакторе потребовала сформулировать и решить несколько задач, перечисленных ниже, которые стали основой данной диссертации.

Задача 1. Исследовать и оптимизировать спектры нейтронов реактора ИРТ-Т. Чем больше плотность потока и доля тепловых нейтронов в активной зоне ядерного реактора, тем эффективнее идёт процесс НТЛ. Автор должен был (путём выбора режимов движения кремния относительно нейтронного поля, оптимизации параметров зоны облучения, специальных «ловушек» и других средств) добиться высокой пространственной равномерности распределения потока нейтронов по слитку в радиальном и осевом направлениях.

Задача 2. Исследовать спектр и дозовые характеристики гамма-квантов, испускаемых при делении урана, которые определяют радиационный разогрев кремния в процессе легирования.

Задача 3. Разработать, изготовить, собрать и запустить в промышленную эксплуатацию автоматизированную установку для НТЛ на базе реактора ИРТ-Т. Создать для неё технологию облучения и наладить производство промышленных партий слитков легированного кремния большого диаметра (до 5 дюймов) с последующей поставкой их на рынок России и других стран.

Задача 4. Разобраться с несколькими частными вопросами, в том числе:

- разработать методику входного контроля кремния;
- установить связь между флюенсом нейтронов и удельной электропроводностью монокристаллического кремния;
- рассмотреть вопрос о применении кремния для детектирования нейтронных потоков в активной зоне и т.д.

Мне кажется, что диссертант успешно справился с этой работой. Получен большой набор расчётных и экспериментальных результатов, которые всесторонне отражают процесс ядерного легирования.

В последние 30 лет существенно сократилась производственная база НТЛ. Ограничено применение энергетических уран-графитовых реакторов. Они постепенно выводятся из эксплуатации. Остановлены и демонтируются промышленные уран-графитовые реакторы. Водо-водяные энергетические аппараты проблемы не решают, так как их корпуса находятся под давлением и в них трудно осуществить подобную операцию. Маловероятно, что в ближайшие годы в России будут строить специализированные реакторы для этих целей (например, тяжеловодные).

Следует подчеркнуть большое значение работы Варлачёва В.А. для производства ядерно-легированного кремния в России. Он доказал целесообразность использования бассейновых реакторов. Это позволило расширить круг источников нейтронов, которые могут использоваться в практике НТЛ. Ранее реакторы этого типа как оборудование для промышленного легирования кремния не рассматривались.

Решение всех перечисленных выше задач содержит научную новизну. Она подтверждена многочисленными публикациями и отзывами ведущих специалистов.

Соискатель использовал широкий круг современных методов исследования: от математического моделирования до проведения стендовых и натурных испытаний. Экспериментальные данные надежны, что подтверждается применением аттестованных средств измерений.

Высокое качество полученных данных подтверждено их непротиворечивым характером, взаимной согласованностью, использованием современной измерительной аппаратуры, а также надёжных методов статистической обработки результатов измерений. Кроме того, хотелось бы отметить, что на основе материалов, представленных в диссертации, была разработана и внедрена промышленная технология НТЛ. Её высокая эффективность подтвердила корректность концепции, использованной автором.

Достоверность выводов и защищаемых положений основана на их строгом соответствии полученным результатам, тщательной проверке, сравнении с данными других авторов.

Значимость результатов для науки и производства

Значимость диссертационных исследований для науки заключается в том, что созданы научные основы и модель легирования слитков кремния больших размеров.

Разработаны и внедрены оборудование и технология НТЛ этого процесса на базе бассейнового ядерного реактора типа ИРТ-Т. Создан участок для производства высококачественных слитков кремния диаметром до 5 дюймов и длиной до 700 мм с достигнутой производительностью 5 тонн в год, что составляет 2% мирового производства этого материала. Налажена его поставка в Китай, Германию, Россию.

Попутно получены результаты, которые позволили создать установки для радиационного окрашивания полудрагоценных камней.

Личный вклад автора

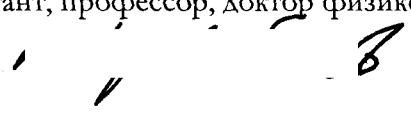
Варлачёв В.А. много лет посвятил изучению данной темы. Его роль в этой работе является определяющей. Он выполнил все основные расчёты, принял участие в постановке всех экспериментов, сформулировал выводы и защищаемые положения. Самостоятельно

провёл диагностику корректности разработанных моделей. Валерий Александрович давно зарекомендовал себя как серьёзный специалист в области радиационной физики, а его диссертация представляет собой значительный вклад в разработку теоретических и практических основ технологии НТЛ кремния.

Заключение о соответствии работы требованиям ВАК

В целом диссертационная работа является законченным научным исследованием в рамках актуальной темы. Новые результаты, полученные автором, имеют большое значение для технических наук и практики при проектировании, оптимизации, внедрении технологий нейтронного трансмутационного легирования кремния. Выводы, рекомендации и защищаемые положения хорошо обоснованы. Работа отвечает критериям Положения о присуждении учёных степеней. Считаю, что по общему объёму проведенных исследований и качеству полученных результатов, научной новизне и практической значимости она соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Варлачёв Валерий Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Научный консультант, профессор, доктор физико-математических наук

 Кривобоков В.П.

Подпись заведующего кафедрой водородной энергетики и плазменных технологий
Кривобокова В.П. подтверждаю.

Учёный секретарь Учёного совета Национального исследовательского Томского
политехнического университета

 Ананьева О.А.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Кривобоков Валерий Павлович

ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский
политехнический университет»

Телефон: (3822) 41-79-54
Внутренний телефон: 2317
E-mail: krivobokov@tpu.ru